

NOTA DE ACEPTACIÓN

DIRECTOR DE PROGRAMA

EVALUADOR

EVALUADOR

Santa Marta, 2017



UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

**PRODUCCIÓN SECUNDARIA DE *Anacroneuria marta* (ZÚÑIGA Y STARK, 2002) Y
Anacroneuria caraca (STARK, 1995) (PLECOPTERA) EN UN RÍO EN LA SIERRA NEVADA
DE SANTA MARTA, COLOMBIA.**

YESELY HURTADO BORRERO

**Propuesta de grado para obtener el título de
Biólogo**

Director Cesar E. Tamaris Turizo Msc. Ph.D(c)

SANTA MARTA D.T.C.H.

2017

DEDICATORIA

A mi amado Jesús por sacar lo mejor de mí y por enseñarme a terminar lo que algún día empecé.

A mis padres Alain Hurtado y Elizabeth Sorrero por poner su confianza en mí, por educarme con principios y por ser mi apoyo en todo lo que emprendo

AGRADECIMIENTOS

A Jesús por ser el motor de vida, creer en Él ha llenado mi vida de muchas convicciones, el formarme en paciencia, y enseñarme a hacer todo con excelencia. Sin Él no hubiera encontrado el verdadero propósito de mi vida.

A mis padres Elizabeth Borrero, Alain Hurtado, y a mis hermanos Hafid Hurtado y Alain Yesid Hurtado, por ser mi apoyo incondicional y financiero durante mi vida. Los amo y los bendigo.

A Cesar Tamarís, por brindarme su apoyo durante toda la carrera y el desarrollo de la tesis, por confiar en mis habilidades y por motivarme a dar más de lo que podemos.

A los profesores Cristian Granados y Cristian Guzman, por su asesoramiento en los estadísticos.

A mis amigos y compañeros, Katty Gomez, Lizeth Figueroa, Melizza Tobias, Kevin Alvarez, Eber Ropain, Esteffany Barros, Mario Bejarano, Liliana Manjarrés, Ronal Castro, por su acompañamiento en campo, laboratorio y en la organización de este documento.

Al Grupo de Investigación Ecología Neotropical, por abrirme las puertas a la investigación, por brindarme el espacio para desarrollar esta tesis y sus materiales para preservar las muestras.

Al profesor Gabriel Pinilla por asesoría y préstamo de equipos del laboratorio en la Universidad Nacional, sede Bogotá.

A los profesores Jesús Manuel López Rodríguez, José Manuel Tierno de Figueroa y Tomáš Derka por su asesoramiento en las ecuaciones de producción secundaria.

Al señor Miky Weber y su esposa Claudia, por permitir hacer los muestreos en la Hacienda La Victoria y a Jeymi y su padre Nelson por su colaboración durante las visitas a la hacienda.

A la Universidad del Magdalena por permitirme estudiar en el plantel, por su apoyo financiero al otorgarme cursar toda mi carrera becada.

A todos aquellos que aportaron un granito de arena a la culminación de esta tesis, Dios los bendiga.

CONTENIDO

Lista de figuras	IV
------------------------	----

Lista de tablas	V
Resumen	VI
Abstract	VI
1. Introducción	1
2. Hipótesis	4
3. Objetivos	5
3.1. General	5
3.2. Específicos	5
4. Metodología	6
4.1. Área de estudio	6
4.2. Trabajo de campo.....	7
4.3. Procesamiento del material biológico	7
4.4. Análisis y procesamientos de datos	8
5. Resultados	9
5.1. Distribución espacial y temporal de especies	9
5.2. Frecuencia de tallas	9
5.3. Biomasa y producción secundaria.....	11
6. DiscusiÓN	14
7. Conclusiones	18

8. Bibliografía	
19	

ANEXOS	
25	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio en la parte media del río Gaira, Hacienda La Victoria - Sector Honduras, Sierra Nevada de Santa Marta. Mapa tomado de Google Earth	6
Figura 2. Abundancia de <i>A. marta</i> y <i>A. caraca</i> en la parte media del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta. A) Grava en corriente rápida (GCR), B) Grava en corriente lenta (GCL); C) Hojarasca (HOJ).	10
Figura 3. Frecuencia de talla de las dos especies del género <i>Anacroneuria</i> durante un año en el río Gaira. A) <i>A. marta</i> . B) <i>A. caraca</i> .	11
Figura 4. Biomasa de <i>A. marta</i> y <i>A. caraca</i> en la parte media del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta. A) Grava en corriente rápida (GCR), B) Grava en corriente lenta (GCL).	12

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los valores medios de los parámetros de producción secundaria de <i>A. marta</i> y <i>A. caraca</i> en la parte media del río Gaira.	13
---	----

RESUMEN

Los plec6pteros son un grupo de insectos que participan en el flujo de energ3a y reaprovechamiento de los nutrientes que son exportados al ecosistema acu3tico. La disponibilidad de la energ3a y las din3micas poblacionales de una especie, se pueden estudiar a trav3s de la producci3n secundaria, que es entendida como la cantidad de biomasa que se genera por organismos heter6trofos en una unidad de tiempo. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la producci3n secundaria de *Anacroneuria marta* y *A. caraca* en el r3o Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta; a trav3s del m3todo de frecuencia de tallas. Para lo cual, se realizaron muestreos cada 20 d3as durante un a3o. Se analizaron tres microhabitats: hojarasca (HOJ), grava en corriente lenta (GCL) y grava en corriente r3pida (GCR). En cada microhabitat se tomaron seis r3plicas con ayuda de una red Surber. En la HOJ se pesaron 500g en h3medo. Los organismos se fijaron en etanol al 96% y se procesaron en el laboratorio. Cada individuo se separ3 por morfoespecie y se le tomaron medidas morfol3gicas para confirmar las especies a trav3s de un an3lisis discriminante. Se pesaron 40 organismos por cada especie y se secaron en una estufa a 60°, para calcular la biomasa a trav3s de una regresi3n potencial. Con los datos anteriores se calcul3 la biomasa. La producci3n secundaria se estim3 a trav3s del m3todo de frecuencias de tallas para especies no reconocidas. La producci3n anual de *A. caraca* fue de 4198.37 mg.m⁻².y⁻¹, con una producci3n por cohorte de 2274.12 mg.m⁻².y⁻¹ y una relaci3n P/B anual de 9.71, siendo m3s alta que *A. marta*, la cual tuvo una producci3n anual de 2582.82 mg.m⁻².y⁻¹, producci3n de la cohorte de 1399.03 mg.m⁻².y⁻¹ y una relaci3n P/B anual de 5.65. A pesar de que la producci3n de *A. caraca* fue mayor que la de *A. marta*, las biomasas y las densidades fueron similares entre las especies. Se concluye que las producciones de ambas especies en el r3o Gaira, fueron altas en comparaci3n a otros estudios realizados en el Neotr3pico. Las biomasas de ambas especies presentaron un patr3n estacional, el cual estuvo moderado por las precipitaciones. Con este trabajo se comprueba que ambas especies son multivoltinas y presentan m3s de una cohorte al a3o; sin embargo, no se logr3 reconocer el n3mero de cohortes por especie.

Palabras clave: clases de talla, voltinismo, cohortes, biomasa.

ABSTRACT

Stoneflies are a group of insects most abundant within continental aquatic ecosystems. In addition, they participate in the energy flow and reuse of the nutrients that are exported to the aquatic ecosystem. Availability of energy and population dynamics of a species can be studied through

secondary production, which is understood as the amount of biomass that is generated by heterotrophic organisms per time. The objective of this work was to determine the secondary production of *Anacroneuria marta* and *A. caraca* in the Gaira river, Sierra Nevada de Santa Marta; through size-frequency method. For this purpose, samples were taken every 20 days for one year. Three microhabitats were analyzed: leaf litter (HOJ), slow current gravel (GCL) and fast current gravel (GCR). Six replicates were taken in each microhabitat with the aid of a Surber net. In the HOJ were weighed 500g in wet. The organisms were fixed in 96% ethanol and processed in the laboratory. Each individual was separated by morphospecies and morphological measures were taken to confirm the species through a discriminant analysis. For each species, 40 organisms were weighed and dried in a 60 ° stove to calculate the biomass through a potential regression. With the above data the biomass was calculated. Secondary production was estimated using the sizefrequency method for non-recognized species. The annual production of *A. caraca* was 4198.37 mg.m⁻².y⁻¹, with a production of the cohort of 2274.12 mg.m⁻².y⁻¹ and an annual P/B ratio of 9.71, being higher than *A. marta*, which had an annual production of 2582.82 mg.m⁻².y⁻¹, production of the cohort of 1399.03 mg.m⁻².y⁻¹ and an annual P/B ratio of 5.65. Although the production of *A. caraca* was greater than that of *A. marta*, the biomass and densities were similar among the species. It is concluded that the productions of both species in the Gaira river were high in comparison to other studies in the Neotropics. The biomass of both species presented a seasonal pattern, which was moderated by precipitation. This work shows that both species are multivoltines and present more than one cohort per year; however, the number of cohorts per species was not recognized.

Keywords: Size classes, voltinism, cohorts, biomass.

1. INTRODUCCIÓN

Los plecópteros son insectos acuáticos utilizados como bioindicadores de la calidad de agua. Estos organismos participan en el flujo de energía y reaprovechamiento de los nutrientes que son exportado al sistema terrestre y a otros niveles tróficos en el ecosistema acuático (GutiérrezFonseca, 2010). El flujo de energía y la dinámica poblacional de una especie o especies parecidas, se pueden estudiar a través de la producción secundaria, que es entendida como la cantidad de biomasa que se genera por organismos heterótrofos en una unidad de tiempo (Benke, 1993). A nivel mundial, la mayor parte de los estudios de producción secundaria en plecópteros se concentra en la Península Ibérica y Estados Unidos (Benke, 1984; Benke, 1996; Tierno de Figueroa *et al.*, 2003, Lopez-Rrodriguez, 2008; Merritt *et al.*, 2008; López-Rodríguez, 2009; Benke y Huryn, 2011), no obstante, en el neotrópico pocos son los estudios realizados sobre este tema (Ramirez y Pringle 1998; Cressa, 2003; Tamaris-Turizo y Sierra-Labastidas, 2009).

Estos insectos pertenecen al orden Plecoptera, que proviene del griego “Plecos” que significa plega y “Pteros” alas (Gutiérrez-Fonseca, 2010). Es un grupo antiguo que posee cerca de 3500 especies incluidas en 16 familias con 286 géneros distribuidos en todo el mundo (Fochetti y Tierno de Figueroa, 2008). Se encuentra conformado por dos subórdenes: Antarctoperlaria con 318 especies integrado en 4 familias y Arctoperlaria con 3179 especies en 12 familias (Gutiérrez-Fonseca, 2010). Para Sur América se encuentra siete familias, dentro de las cuales se destaca Perlidae, con diez géneros (Dewalt *et al.*, 2017), siendo *Anacroneuria* el género más abundante y diverso del orden, con 1000 especies descritas aproximadamente en todo el mundo (Fochetti y Tierno de Figueroa, 2008).

Los plecópteros tienen preferencia en ríos con corrientes rápidas, aguas frías y altamente oxigenadas, aunque pocas especies se pueden encontrar en ambientes lénticos, oligotróficos, sistemas temporales o en lagos profundos (Yule, 1985; Gutiérrez-Fonseca, 2010). Son hemimetábolos, durante el estado ninfal se caracterizan por presentar branquias torácicas (en algunas familias las branquias son anales), dos cercos terminales (Gutiérrez-Fonseca, 2010; Hanson *et al.*, 2010) y por poseer piezas bucales que están modificadas para ser carnívoro o herbívorodetrítivo de acuerdo a su desarrollo (Stewart y Stark, 2002). El tipo de alimentación que presentan, varía según la especie y el estado de desarrollo de la ninfa, es decir, puede cambiar su hábito alimentario a medida que avanza su crecimiento (Merritt *et al.*, 2008; Tamaris-Turizo *et al.*, 2007). Basado en análisis de contenido estomacal, se ha demostrado que es muy común encontrar en las ninfas un hábito de herbívoro-detrítivo en sus primeros estadios y en los últimos presentan un hábito de omnívoro-carnívoro (Merritt *et al.*, 2008). Pero para las especies de *Anacroneuria* en la Sierra Nevada Santa Marta, su hábito alimenticio es variado, dominando la dieta carnívora en todas sus etapas ninfales (Sierra-Labastidas y Reyes, 2005; Tamaris-Turizo *et al.*, 2007). En el estado adulto posee cuatro alas membranosas, su cabeza es esclerotizada, con ojos compuestos bien

desarrollados, de tres a dos ocelos dependiendo de la familia y del género, las antenas son largas y segmentadas con 50 a 100 segmentos y el abdomen posee diez segmentos, de forma cilíndrica con dos cercos terminales (Gutiérrez-Fonseca, 2010).

En las últimas décadas la mayor parte de los estudios que se han realizado en el orden Plecoptera, se han enfocado en conocer la taxonomía y los patrones de distribución (Shinitshenkova, 1997; Stewart y Stark, 2002; Vera y Camousseight, 2006; Vincon *et al.*, 2014), mientras que los trabajos ecológicos no se han realizado con la misma intensidad, evidenciando un actual rezago en estos aspectos de la biología (Giacometti y Bersosa, 2006; Zúñiga, 2010).

La producción secundaria, es un aspecto muy importante en la ecología, dado que permite identificar el estado de una población porque integra atributos en la estructura de las poblaciones como la densidad, biomasa, tasa de crecimiento individual, reproducción, supervivencia y el tiempo de desarrollo de una especie (Benke, 1993; Dolédec y Statzner, 2010). Esta, se puede estimar por medio de dos metodologías, teniendo en cuenta si las cohortes de los organismos son reconocidas (organismos nacidos en un intervalo de tiempo conocido) o no (Benke, 1993): el crecimiento instantáneo y frecuencias de tallas (Size frequency) (Allen, 1949; Hynes y Coleman, 1968; Benke, 1979). La primera se puede hallar a través del ciclo de vida del organismo, conociendo la variación de la producción durante la fase de desarrollo de la especie, pero no se determina su producción total, sino una estimación de ella (Muñoz *et al.*, 2009). En cambio, el método por frecuencias de tamaños o tallas, suministra información sobre la curva de supervivencia que presenta una cohorte promedio en una comunidad animal, también el estudio cuantitativo de estos organismos durante un año, permite calcular la producción anual de ellos, no siendo necesario diferenciar las cohortes dentro una población (Muñoz *et al.*, 2009).

Los primeros estudios sobre producción secundaria, se documentaron en América del Norte con Allen (1951), pero Hynes y Coleman (1968) corrigieron los errores que tuvo el estudio anterior al desarrollar una metodología para estimar la producción secundaria en invertebrados bentónicos, que solo se aplicaba para las especies univoltinas. Benke (1979) mejoró el método aplicándolo para las especies multinivoltinas como los plecópteros, a través de la frecuencia de tallas de una especie o especies parecidas. Con base al estudio anterior, O'hop *et al.*, (1984) comparó la producción de *Peltoperla maria* (Plecoptera) en dos corrientes contrastantes en las montañas del sur de los Apalache, EE. UU, a través del método de frecuencias de tallas, encontrando que a pesar que la densidad fue diferente en ambas corrientes, no hubo diferencia significativa entre los arroyos con respecto a la producción. En la península ibérica, provincia de Granada (España), se han desarrollados avances importantes en la taxonomía, la distribución, la ecología y los ciclos de vida de los plecópteros de la Sierra Nevada (Tierno de Figueroa *et al.*, 2003). López-Rodríguez (2008)

destaca que la razón de Producción/Biomasa (P/B), tanto en efemerópteros como en plecópteros se mantuvo alrededor de 5.

En Colombia se destaca el estudio de Bohórquez *et al.*, (2011) sobre la distribución estacional del tamaño del género *Anacroneuria* en un río tropical andino, utilizando mediciones de la longitud del cuerpo (frecuencia de talla), en el cual se encontró que las mayores abundancias del género se presentaron en las etapas larvales juveniles (longitud total < 12 mm) durante la época seca. A la fecha para el país solo se ha realizado un estudio que evalúe la producción secundaria en plecópteros (Sierra- Labastidas y Reyes, 2005), el cual estimó este atributo en el río Gaira de la Sierra Nevada de Santa Marta, durante 4 meses, pero a nivel género, estos autores encontraron que las tallas más pequeñas (longitud total < 0,5 mm) registraron la mayor densidad y el más alto valor en la producción ($0.14146 \text{ g.m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

Colombia es un país rico en recursos hídricos, la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), es una de las reservas más importantes del país, la cual se caracteriza por poseer una variedad de pisos térmicos (Roldán, 2009). La SNSM se define como un macizo triangular, que forma el relieve más alto en todo el planeta cercano al mar (Cardona y Ojeda, 2010), donde nacen 18 ríos, entre de los que se destaca el río Gaira (Fundación Pro-Sierra Nevada, 1998). Además, la sierra durante el pleistoceno fue un refugio ideal para muchas especies, por lo que evolucionaron de forma aislada de los Andes, dando lugar a la alta presencia de endemismo de hoy en día (Fundación Pro-Sierra Nevada, 2000). Confiriéndole así, una gran importancia por presentar alta diversidad de especies y de ecosistemas (Fundación Pro-Sierra Nevada, 2000).

Los estudios sobre producción secundaria en los plecópteros, son trascendentales debido a que suministran información cuantitativa del papel que cumplen estos organismos en los ecosistemas dulceacuícolas tropicales como el río Gaira, dado a que integran aspectos de su historia de vida como la supervivencia de la población, el proceso de desarrollo en sus etapas ninfales, el número de cohortes anuales, patrones de emergencia, la densidad poblacional y la dinámica energética (transferencia de biomasa) (Benke, 1984). Por eso, es necesario profundizar en los conocimientos sobre la producción, para entender la dinámica poblacional de los plecópteros y contribuir en los estudios de flujo de energía en los ecosistemas. Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la producción secundaria, en términos de biomasa en dos especies del género *Anacroneuria*, en la parte media del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta.

2. HIPÓTESIS

- Las abundancias y las biomasas de *A. caraca* y *A. marta* disminuyen a medida que aumentan las precipitaciones en el río Gaira, debido a que las lluvias ejercen un efecto de “lavado” en el río que estimula la deriva de organismos.
- Las especies de *Anacroneuria* presentan más de una generación durante el año, por lo cual se pueden considerar como multivoltinas. No obstante, se espera que haya una baja producción secundaria en el río Gaira.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Determinar la producción secundaria de *A. caraca* y *A. marta* (Plecoptera: Perlidae) en la parte media del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta.

3.2. Específicos

- Describir la dinámica de las abundancias de las ninfas durante los períodos de sequía y lluvia en el río Gaira.
- Evaluar la dinámica de biomasa de *A. marta* y *A. caraca* durante periodos de sequía y lluvia en el río Gaira.
- Evaluar la dinámica de cohortes de *A. marta* y *A. caraca* durante un año.

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

Los muestreos se realizaron en la parte media del río Gaira, departamento del Magdalena, en la Hacienda la Victoria, Sierra Nevada de Santa Marta. La SNSM, posee un área total de 10 464.3 ha, localizada entre los 11°52'56" N, 11°10'08" N, 74°46'22" W y 74°01'07" W, con una longitud de 32.53 km² (Frayter *et al.*, 2000). La estación de muestreo Hacienda la Victoria (Sector Honduras), se encuentra ubicada a 900 msnm entre los 11°07'44.2" N y 74°05'35.8" W (Figura 1). Esta cuenca se caracteriza principalmente por poseer corrientes rápidas y lentas (Grimaldo, 2001), siendo un ambiente propicio para la variedad de microhabitats como el sistema pedregoso, arenoso, entre otros, permitiendo el crecimiento de diferentes organismos biológicos en ella (Guerrero *et al.*, 2003). La descripción detallada del área de estudio puede ser consultada en Tamaris-Turizo *et al.*, (2013). En el período de muestreo, el fenómeno del niño se intensificó más durante los años 2014 y 2015, siendo el ultimo más fuerte que el primero, reflejando en las precipitaciones durante los meses del estudio (IDEAM, 2016) (Anexo 4).

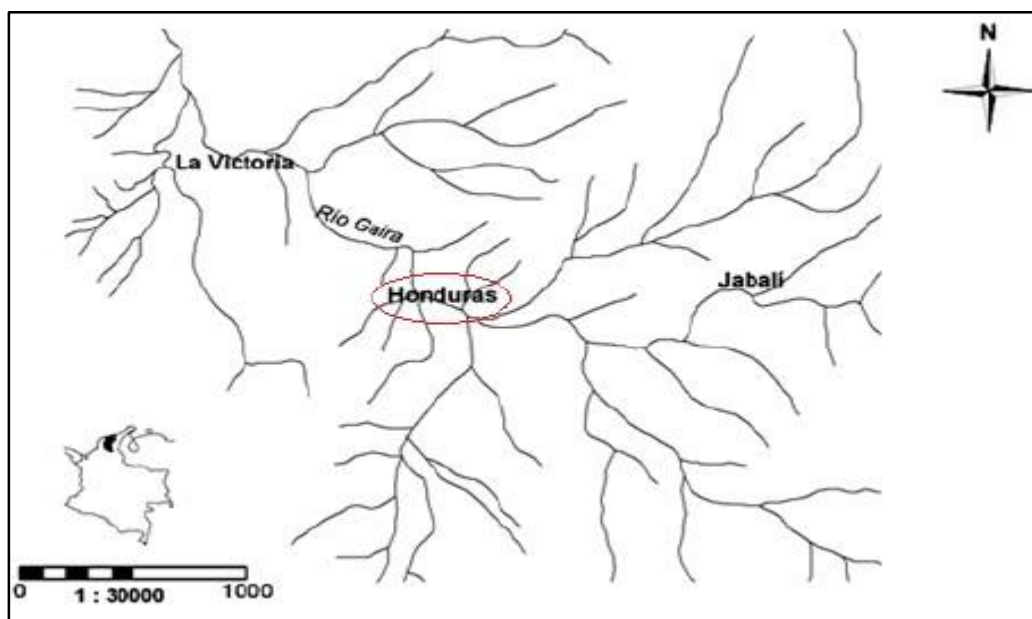


Figura 1. Área de estudio en la parte media del río Gaira, Hacienda La Victoria - Sector Honduras, Sierra Nevada de Santa Marta. Mapa tomado y modificado de Sierra-Labastidas y Reyes (2005).

4.2. Trabajo de campo

Los muestreos se realizaron cada 20 días durante un año. La colecta de los organismos se hizo en horas de la mañana, desde julio de 2014 hasta junio de 2015. En el sitio de muestreo, se seleccionó un tramo recto de 100 metros aproximadamente que presentara la variedad de microhabitats del sitio. Para la recolecta de los organismos se tomaron seis réplicas en los microhabitats de hojarasca (HOJ), grava en corriente lenta (GCL) y grava en corriente rápida (GCR) (Benke y Huryn, 2011). En la hojarasca se recolectó de forma manual 500 g aproximadamente de peso húmedo. En las gravas se usó una red Surber de 0,09 m² (poro de la red: 250 µm) para área total barrida de 0,54 m² (RuedaDelgado, 2002). Los organismos recolectados en campo se preservaron en etanol al 96% y se almacenaron en frascos plásticos debidamente rotulados para su posterior revisión. Durante el muestreo realizado el 6 de diciembre de 2014, se presentó una fuerte precipitación, por lo cual solo se recolectaron tres réplicas.

4.3. Procesamiento del material biológico

Los organismos se separaron por especies, teniendo en cuenta las descripciones de Tamaris-Turizo y Turizo, (2004), Sierra-Labastidas y Reyes, (2005) y Zúñiga *et al.*, (2007) y por clases de tallas, de acuerdo al tamaño de los organismos encontrados durante el estudio. Los organismos preemergentes, se identificaron mediante el uso de claves y descripciones taxonómicas especializadas de Stark (1995) y Zúñiga y Stark (2002), dado que en ese estado de desarrollo las genitalias se han desarrollado y es posible identificarlas por medio de claves de insectos adultos.

Para confirmar las especies a través de la morfometría de su cuerpo, a cada una de las ninfas se les tomaron las siguientes medidas a través del software ZEN (Versión 2.1, Zeiss): longitud total del cuerpo (LT), ancho del pronoto (AP), distancia entre los ocelos (DEO), distancia entre los ojos (DEOJ), longitud de abdomen (LA), longitud del fémur (LF) y longitud de la tibia (Lt). Para las dos últimas medidas se utilizaron la extremidad derecha de los organismos. Teniendo en cuenta la LT para el método de frecuencias de tallas, las ninfas se clasificaron en clases de tallas con intervalos de 0,5 mm. Se consideraron tallas pequeñas a los organismos < 6,4 mm, las tallas medianas estuvieron entre 6,5 y 8,4 mm, y las tallas grandes fueron mayores a 8.5 mm. 487 organismos de *A. marta* y 287 de *A. caraca* fueron utilizados para los análisis morfométricos, debido a que muchos de ellos estaban incompletos.

Para estimar la biomasa de las especies en estudio, se tomaron 40 organismos por cada especie y se secaron en una estufa (MLW) a 60 °C por 24 horas para obtener el peso seco constante, luego se calcinaron en una mufla (E&Q M2, 2) a 500 °C por 2 horas para determinar el peso seco libre de ceniza (Benke, 1996). Los pesos se obtuvieron con una balanza analítica (METTLER TOLEDO, Precisión: ± 0.01 mg). Para conocer la relación entre la biomasa de las especies se realizó una

regresión simple entre la longitud total y el peso seco, con el paquete estadístico StatR en RWizard v. Beta 1.0 (Guisande *et al.*, 2014). La función que mejor se ajustó a la relación entre las dos variables, fue el modelo potencial, al presentar un mayor coeficiente de correlación. Se empleó la ecuación del modelo $y = ax^b$ (donde: a y b son constantes, Y es el peso seco y X es la longitud). Donde en *A. marta* $a = -4.956$ y $b = 2.767$ ($r^2 = 0,81$, $P < 0,01$) y en *A. caraca* $a = -5.195$ y $b = 2.9386$ ($r^2 = 0,95$, $P < 0,01$).

El cálculo de la producción secundaria se realizó utilizando el método de frecuencia-talla descrito por Hynes y Coleman (1968) y modificado por Benke (1979). Este análisis se realizó a partir de los organismos recolectados en GCR y GCL. Para los cálculos de la producción por cohorte y la producción anual se usó el número de meses registrado $CPI=6.5$ para *A. bifasciata* (Cressa, 2003). Las primeras tallas que obtuvieron valores de pérdida de biomasa en el cálculo de producción secundaria, se excluyeron de la suma de producción de la cohorte de las especies, lo cual, no provoca cambios importantes en la suma (Muñoz *et al.*, 2009) (Anexo 1). La producción se calculó usando la siguiente ecuación:

(1) $P = k (i / \sum \Delta NW)$ donde, P= es

producción ($mg \cdot m^{-2} \cdot y^{-1}$) i= es el

número de clases de tallas $k = 6.5$

(CPI)

N= es la densidad. (Número de individuos $\times m^{-2}$)

W= es el peso (mg)

4.4. Análisis y procesamiento de datos

La frecuencia de clases de tallas, se obtuvo a partir de histogramas de frecuencia en el software FISATT II (Gayanilo *et al.*, 2002). La separación de las especies a partir de su morfometría, se realizó aplicando un análisis discriminante a las métricas morfológicas descritas anteriormente, previa agrupación de los organismos en tres clases de tamaños: 1) entre 3 y 6,9 mm, 2) entre 7 y 9 mm y 3) entre 9 y 14 mm (Anexo 2). Cada variable morfológica se estandarizó al dividirla por la longitud total (LT). Posteriormente, se realizaron comparaciones bivariadas entre las métricas de las dos especies para saber si existen diferencias significativas, con una prueba paramétrica (t-Student), si cumplía con el supuesto de distribución normal de los datos o una prueba no paramétrica (U de Mann-Whitney), si no lo cumplía. Además, se realizó un t-test para comparar las abundancias de las ninfas entre los períodos climáticos. Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico StatR en RWizard v. Beta 1.0 (Guisande *et al.*, 2014).

5. RESULTADOS

5.1. Distribución espacial y temporal de especies

Se identificó un total de 1126 individuos recolectados en los tres microhabitats, de los cuales 294 se encontraron en GCR, 194 GCL y 638 en la HOJ. Se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las métricas de las dos especies: para la talla 1 (DEOJ, AP, AC, LA, LF1, Lt1, LF2, Lt2, LF3, Lt3), para la talla 2 (DEO, AP, AC, LA, LF1, Lt1, LF2, Lt2, LF3, Lt3) y para la talla 3 (DEO y Lt3). *A. marta* registró mayor abundancia que *A. caraca* (628 y 498 individuos respectivamente). No obstante, las especies presentaron una abundancia similar en las gravas. En la HOJ la abundancia de *A. marta* fue mayor que *A. caraca* (Anexo 3). Los microhabitats de gravas presentaron menor abundancia que el microhabitat de hojarasca, excepto durante los muestreos de 9 de noviembre y 13 de enero, donde las abundancias fueron similares (Figura 2). La GCL registró la menor abundancia para ambas especies y para ambos periodos climáticos (Figura 2B). Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las abundancias de las ninfas entre periodos climáticos ($P > 0.05$), las mayores abundancias para ambas especies se presentaron durante los meses de sequía (finales de diciembre hasta marzo) y las menores abundancias durante los meses de lluvias (mayo hasta noviembre). Sin embargo, en la HOJ se observó poca variación de las abundancias durante los periodos climáticos (Figura 2).

5.2. Frecuencia de tallas

Durante todo el año se encontraron trece clases de tallas registradas para *A. marta* y catorce para *A. caraca* (Anexo 1). En *A. marta* las tallas pequeñas presentaron la mayor frecuencia (entre enero y mayo). La presencia de las clases de tallas más grandes (> 9 mm), se presentó en julio, septiembre, octubre, noviembre de 2014 y enero, febrero de 2015; lo cual indica que las ninfas ya estaban en proceso de convertirse en adultos. Las clases de tallas con mayor frecuencia para esta especie en el río Gaira, fueron las pequeñas y medianas (4,8 - 6,7 mm) y la más baja frecuencia para las clases de tallas grandes mayores a 8,8 mm (Figura 3A). Para *A. caraca*, se observó que las tallas pequeñas aumentaron su frecuencia desde finales de enero hasta junio de 2015; siendo la de mayor frecuencia las clases de tallas pequeñas (1,3 - 2,2 mm). Las clases de tallas grandes estuvieron presentes en julio, agosto, septiembre y octubre de 2015 y las menores frecuencias se presentaron en las clases de tallas pequeñas y medianas (3,8 - 6,7 mm) y los mayores de 11,8 mm (Figura 3B). Ambas

especies no mostraron un patrón claro de crecimiento, dado que las clases de tallas estuvieron presentes en la mayoría de los muestreos.

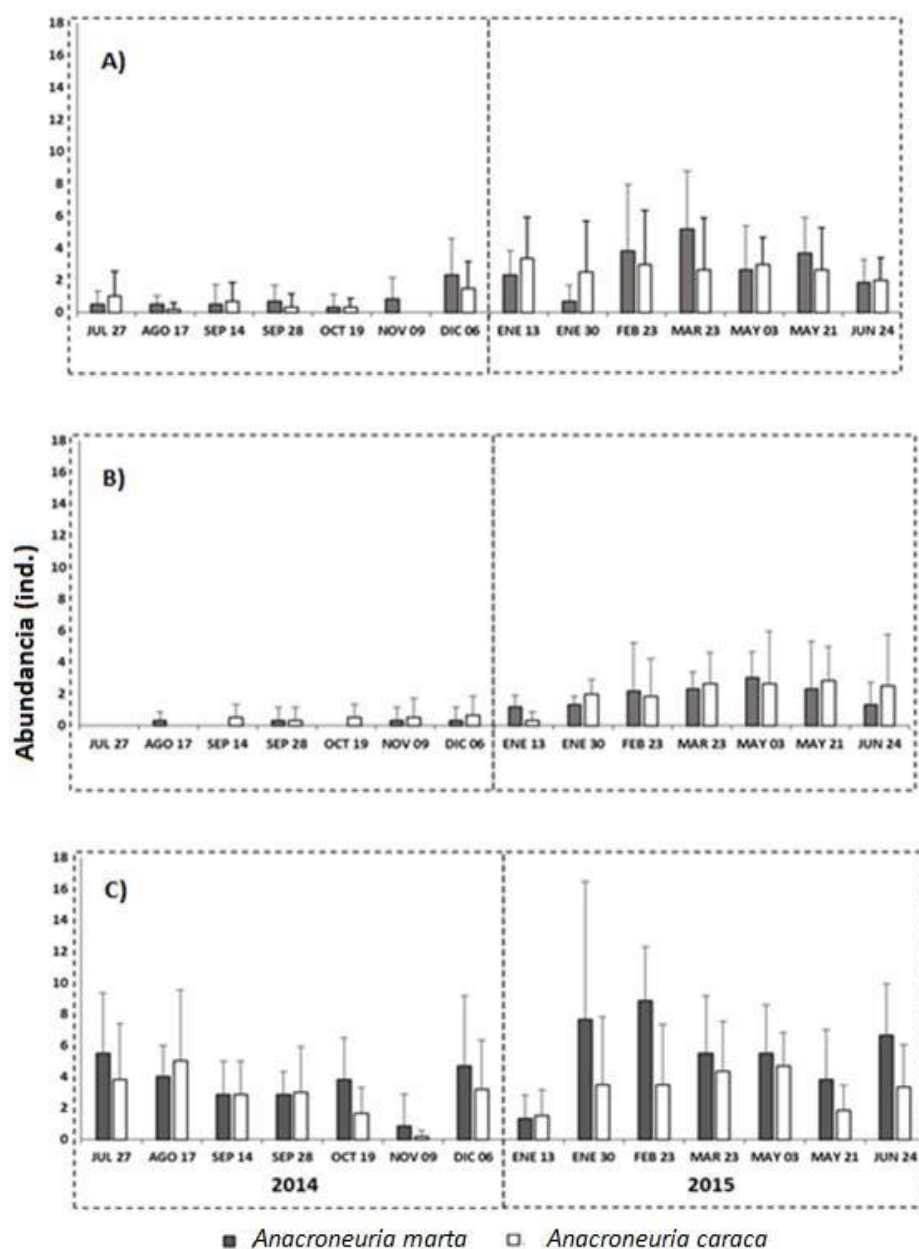


Figura 2. Abundancia (promedio \pm desviación estándar) de *A. marta* y *A. caraca* en la parte media del Río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta. A) Grava en corriente rápida (GCR), B) Grava en corriente lenta (GCL); C) Hojarasca (HOJ).

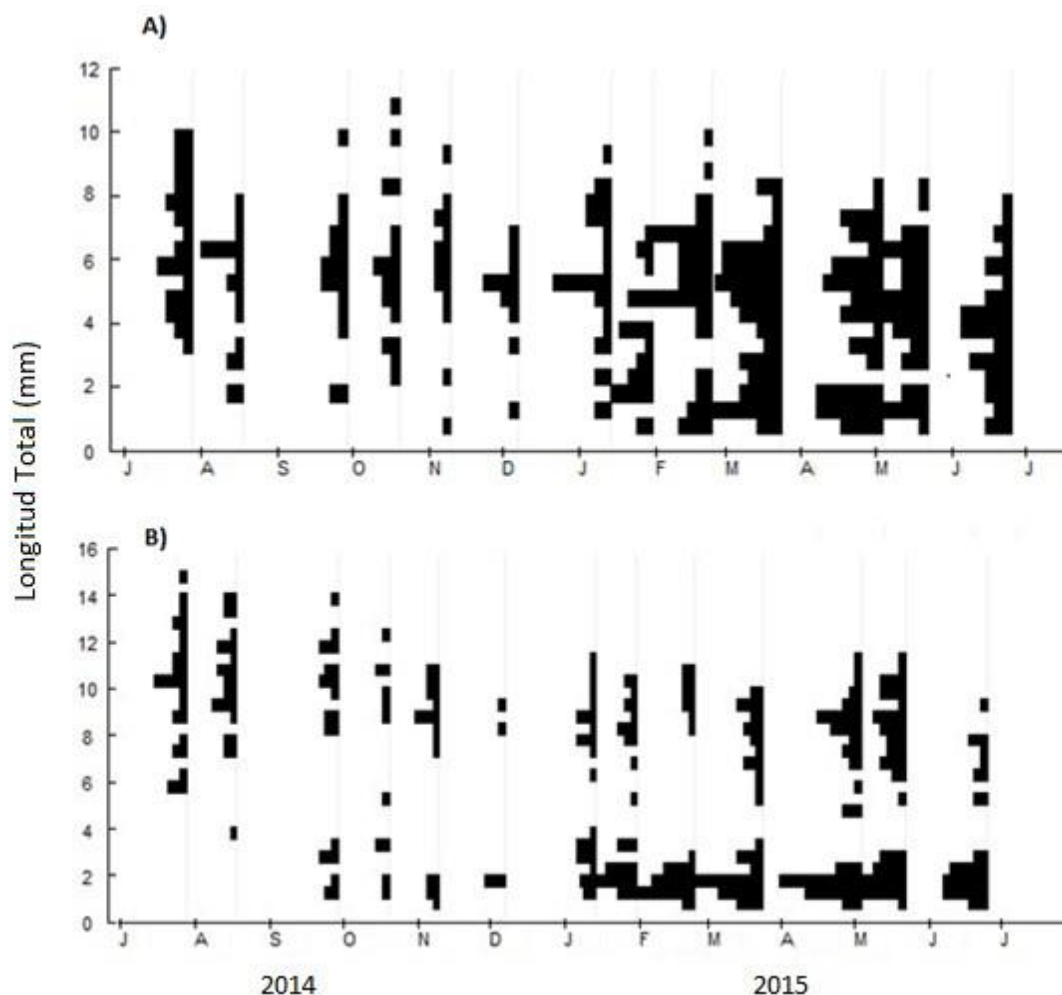


Figura 3. Frecuencia de talla de las dos especies del género *Anacroneuria* durante un año en la parte media del río Gaira. A) *A. marta*. B) *A. caraca*.

5.3. Biomasa y producción secundaria

La biomasa anual de *A. marta*, fue similar a la de *A. caraca* ($B=1069.98$ y $B=1009.67$ mg.m^{-2} , respectivamente) (Anexo 5). En el microhabitat GCR *A. marta* tuvo el mayor aporte en biomasa en marzo ($B=100.39$ mg.m^{-2} ; $DS= 15.63$) mientras que *A. caraca* lo obtuvo en mayo ($B=94.33$ mg.m^{-2} , $DS= 18.47$). Los meses con menor valor de biomasa en ambas especies fue agosto, *A. marta*: ($B=7.89$ mg.m^{-2}) y *A. caraca* ($B=6.37$ mg.m^{-2}) (Figura 4A; Anexo 5). En la GCL en el primer muestreo de mayo se presentó el mayor aporte en biomasa para *A. marta* ($B=75.39$ mg.m^{-2} , $DS= 17.30$) y en el mes de junio para *A. caraca* ($B=77.64$ mg.m^{-2} , $DS= 18.23$) (Anexo 5). El menor aporte de la biomasa para este microhabitat se presentó en el mes de septiembre para *A. marta* ($B=6.69$ mg.m^{-2})

y en octubre para *A. caraca* (2.85 mg.m^{-2}) (Figura 4B). En términos generales, durante el período seco se registraron los mayores aportes de la biomasa en las dos especies. El microhabitat GCL tuvo la menor biomasa para ambas especies.

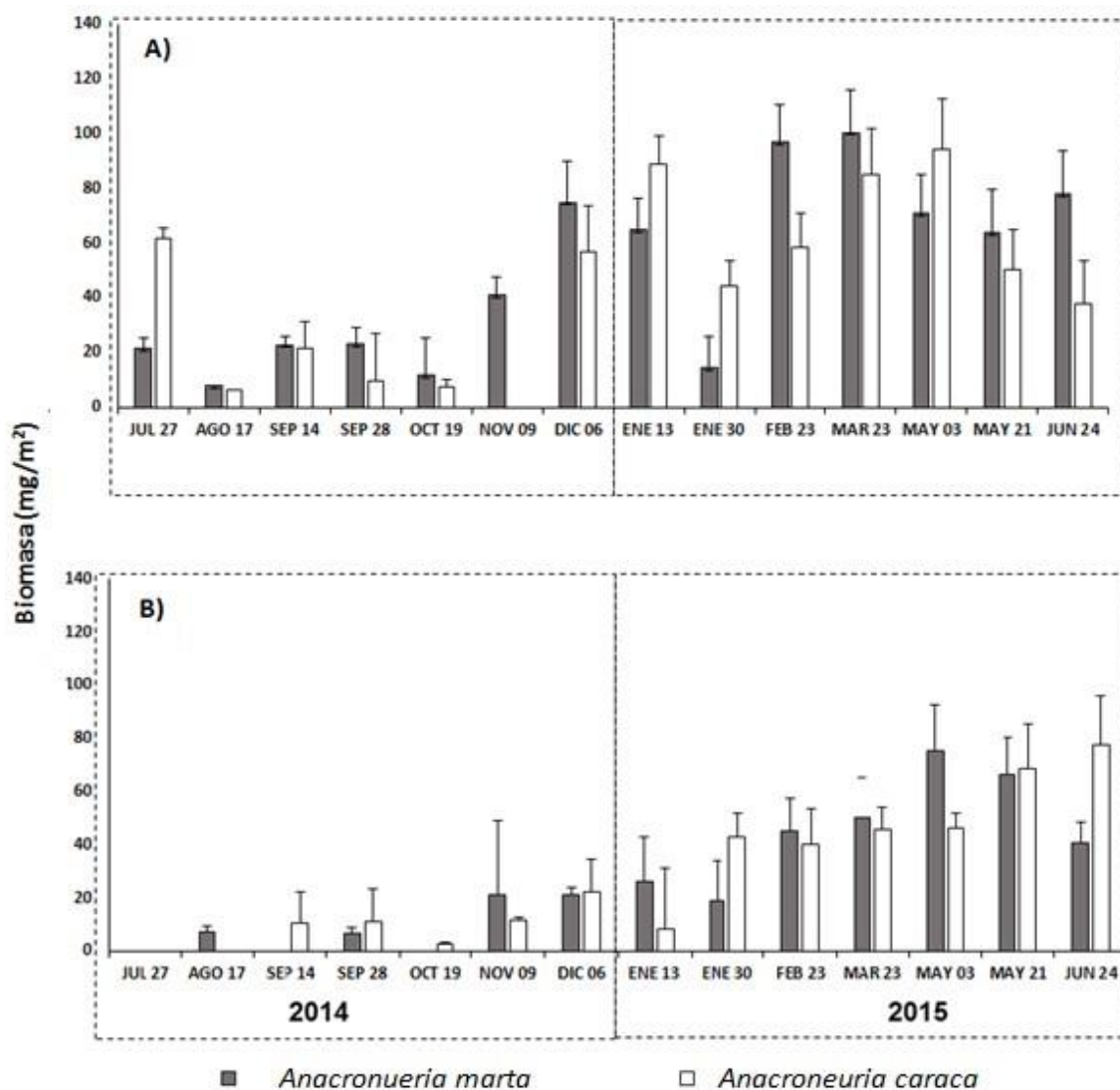


Figura 4. Biomasa (promedio \pm desviación estándar) de *A. marta* y *A. caraca* en la parte media del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta. A) Grava en corriente rápida (GCR), B) Grava en corriente lenta (GCL).

La producción anual de *A. caraca* fue de $4198.37 \text{ mg.m}^{-2}.\text{y}^{-1}$. y la producción de la cohorte fue de $2274.12 \text{ mg.m}^{-2}.\text{y}^{-1}$. Esta especie tuvo una relación P/B anual de 9.71, siendo más alta que *A. marta*, quien tuvo una producción anual de $2582.82 \text{ mg.m}^{-2}.\text{y}^{-1}$, producción de la cohorte de $1399.03 \text{ mg.m}^{-2}.\text{y}^{-1}$.

$^2.y^{-1}$ y una relación P/B anual de 5.65. A pesar de que *A. caraca* presentó mayor producción que *A. marta*, las biomasa y las densidades fueron similares entre las especies (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de los parámetros de producción secundaria de *A. marta* y *A. caraca* en la parte media del río Gaira. P: producción, B: biomasa.

Especie	Densidad (N° ind./m ²)	Biomasa (mg.m ⁻²)	P cohorte (mg.m ⁻² .y ⁻¹)	P anual (mg.m ⁻² .y ⁻¹)	P/B cohorte	P/B anual
<i>A. marta</i>	171.43	457.41	1399.03	2582.82	3.06	5.65
<i>A. caraca</i>	181.75	432.28	2274.12	4198.37	5.26	9.71

6. DISCUSIÓN

Este trabajo es el primer estudio en Colombia en determinar la producción secundaria a nivel de especie en macroinvertebrados acuáticos. Los resultados comprueban lo planteado en las hipótesis: 1) las abundancias y las biomásas de *A. caraca* y *A. marta* son influenciadas con las precipitaciones en el río Gaira. Se encontró que en las épocas de sequía aumentó la abundancia de los plecópteros y por ende aumentaba la biomasa proporcionalmente y en la época de lluvias disminuyeron dichas variables. 2) Las especies del género *Anacroneuria* son multivoltinas, presentando más de una generación al año. No obstante, no se comprueba de que la producción secundaria fue baja en ambas especies en el río Gaira.

Las ninfas de los plecópteros en el Neotrópico están asociadas a corrientes rápidas y oxigenadas (Roldán, 2008; Gutiérrez-Fonseca, 2010; Zúñiga, 2010), esto coincide con lo encontrado en este trabajo, donde el mayor aporte de biomasa lo obtuvo el microhabitat GCR, que se caracteriza por ser un refugio estable en las temporadas climáticas según lo reportado por Tamaris-Turizo *et al.*, (2007). Esto afirma que en las ninfas si existen preferencias de microhabitat en función de la corriente. Sin embargo, para ambos microhabitats las biomásas se ven afectadas por las altas precipitaciones en la temporada de lluvias en el río.

En los ecosistemas lóticos neotropicales, las precipitaciones influyen en la composición y en la abundancia de los insectos acuáticos. Este hecho se ha evidenciado previamente en estudios donde la abundancia de macroinvertebrados disminuyó en el período de lluvias y aumentó en el período de sequía (Giacometti y Bersosa, 2006; Tamaris-Turizo *et al.*, 2007; Barragán *et al.*, 2017; Theodoropoulos *et al.*, 2017). Estos resultados coinciden con lo encontrado en este trabajo y con lo registrado por Sierra-Labastidas y Reyes (2005) en la parte media del río Gaira y por Bohórquez *et al.*, (2011) en el río Prado (departamento del Tolima). Sin embargo, las abundancias registradas en la HOJ difieren con lo registrado por Tamaris-Turizo *et al.*, (2007), esta tendencia obedece a que los muestreos realizados en este trabajo correspondieron a un año donde se presentó el fenómeno de El Niño, el cual provocó que el caudal del río tuviera poca variación en su tramo, dándole probablemente una alta estabilidad en el flujo del sistema a los plecópteros. Confiéndoles un microhábitat propicio para el establecimiento de estos (Ruhí *et al.*, 2016); por otra parte, se encuentra mayor disponibilidad de alimentos lo cual genera un recurso energético importante para su crecimiento (Burdet y Watts, 2009).

La alta frecuencia de tallas pequeñas observada en organismos < 6.4 mm durante la mayoría de los muestreos y en ambas especies, es evidencia de que las ninfas se reproducen en varias oportunidades durante el año, con una aparición de los primeros *instars* desde noviembre hasta julio en *A. marta*, y desde octubre hasta junio en *A. caraca* (Figura 3). Sierra-Labastidas y Reyes (2005)

sugieren que las ninfas del género *Anacroneuria* se encuentran en continuo crecimiento o existe una alternancia de generaciones entre las especies. El resultado de esta investigación coincide con Sierra-Labastidas y Reyes (2005), a pesar de que fue en un período corto (4 meses) en el río Gaira.

Las tallas más grandes para *A. marta* aparecen en el mes de septiembre y octubre, lo cual puede indicar que las ninfas están cercanas a emerger. Mientras que en *A. caraca* se observaron entre los meses de julio hasta octubre, coincidiendo con lo registrado por Ballesteros (2004), en el río RioFrío (Valle del Cauca, Colombia). Los patrones de emergencia para el género *Anacroneuria*, no está relacionados con la estacionalidad, donde las ninfas se convierten en adultos en el transcurso de año, teniendo picos de emergencia entre los meses de agosto a octubre (Zuñiga *et al.*, 2003; Tamaris-Turizo *et al.*, 2007; Zuñiga, 2010).

En Ecuador Turcotte y Harper (1982) estudiaron la fauna de macroinvertebrados en una pequeña corriente andina de un páramo en una especie no reconocida de *Anacroneuria*, encontrando también que la mayor frecuencia de tallas se presentó en organismos pequeños. A diferencia de este estudio, estos autores observaron un patrón de crecimiento, seguramente porque son especies de páramo y en zonas templadas, su crecimiento fue diferente. Generalmente las especies de ambientes tropicales presentan un desarrollo rápido, ciclos multivoltinos, a diferencia de las zonas templadas, que usualmente tienen desarrollo más lento, debido a la temperatura del agua (Bishop, 1973; Jackson y Sweeny, 1995). En vista a que no se pudo dilucidar algún patrón de crecimiento en las especies, se comprueba la hipótesis de que las especies *A. marta* y *A. caraca* son multivoltinas, no estacionales y presentan tener más de una cohorte al año (Merritt *et al.*, 2008).

Rodríguez-Barrios *et al.*, (2011) evaluaron los grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados en el río Gaira durante un año, encontrando que el género *Anacroneuria* fue uno de los que mayor biomasa aportó en los tramos bajos, medios y altos, por su contribución en peso; junto con los géneros *Macrobrachium*, *Leptonema* y *Corydalis*; además registraron que el mayor aporte de biomasa en los macroinvertebrados se presentó en el período seco con un 57%, atribuyéndole a esta diferencia, el aumento de depredadores en la sequía como el género *Anacroneuria*. No obstante, las metodologías fueron diferentes, por lo cual las biomásas no son comparables. Sierra-Labastida *et al.*, (Datos sin publicar) evaluaron la biomasa del género *Anacroneuria* en el río Gaira en un período de 4 meses, encontrando que las abundancias tienen el mismo patrón de la biomasa, al fluctuar entre los periodos climáticos, siendo las tallas pequeñas e intermedias, las que presentaron las mayores biomásas durante su estudio. Esto coincide con lo observado en ambas especies estudiadas en este trabajo, aunque se tiene en cuenta que la biomasa es expresada en peso seco, mientras que en Sierra-Labastida *et al.* es en peso seco libre de ceniza. Esto es atribuido a que las ninfas presentaron una renovación continúa en su período de estudio.

En el río Baía (Brasil) Michiyo y Grzybkowska (1997) registraron para *Campsurus violaceus* (Ephemeroptera), valores de biomasa total de 3.350 g.m⁻² y producción secundaria de 16.48 g. m⁻².y⁻¹, registro considerado como alto en ecosistemas lóticos. No obstante, estos organismos generalmente son muy grandes y robustos, lo cual justifica que ésta biomasa haya sido mucho mayor que la estimada en ambas especies del género *Anacroneuria*. En Costa Rica, Ramirez y Pringle (1998) estimaron por primera vez la producción secundaria en un ensamblaje de insectos bentónicos en un arroyo neotropical de la vertiente del Caribe, donde la producción fue baja comparadas con otros estudios de regiones subtropicales y templadas, por ejemplo: *Tricorythodes* (Ephemeroptera), fue el más productivo con 138.80 mg AFDM m⁻².y⁻¹ y un P/B anual de 19.1. Por su parte, en Los Estados Unidos, Benke *et al.*, (2001) registró la producción anual de la familia Perlidae (>2 g.m⁻².y⁻¹) en un río subtropical en la llanura costera, y el género *Anacroneuria* tuvo una producción muy baja de 180 mg m⁻².y⁻¹ y P/B de 11,0. Los resultados de los anteriores estudios son muy inferiores a lo encontrado en este trabajo (6 g.m⁻².y⁻¹), lo cual puede estar relacionado con las abundancias de los organismos y las tasas de crecimiento (Huryn y Wallace, 2000).

En el río Camurí Grande, Venezuela, la producción secundaria de la especie *Anacroneuria bifasciata* fue baja, con respecto a la producción de otros órdenes del mismo río, siendo su producción de 94,5 mg.m⁻².y⁻¹ y una relación P/B de 6.6 (Cressa, 2003). El autor lo atribuye a que las abundancias y densidades de esta especie fueron bajas en su estudio y que el papel que cumple dentro de una comunidad está en función de la tasa de recambio y no tan solo en la densidad. Sin embargo, SierraLabastidas y Reyes (2005) estimaron la producción para el género *Anacroneuria* en el río Gaira, con 3.538 mg.m⁻².122d y una relación P/B de 13 expresado en peso seco libre de ceniza. Estos resultados fueron similares y consistentes con lo encontrado en este estudio en cuanto a la relación P/B, a pesar de que estos autores solo muestrearon cuatro meses. Por su parte los valores de producción de esta investigación fueron mucho mayores.

La relación P/B de la cohorte para invertebrados acuáticos es usualmente entre 2 a 8 (Waters 1987) y para la relación P/B anual según Benke (1993) no presenta límites en los valores teóricos. No obstante, para invertebrados acuáticos puede estar dentro 0,1 hasta 200 (Benke, 1993). De acuerdo con esto, la relación P/B de la cohorte de nuestras especies se mantiene dentro de este rango y fueron valores esperados para el río Gaira. A pesar de que la producción de las dos especies fue baja según el resumen de estudios de flujo que realizó Benke (1993), los resultados de este trabajo siguen siendo mucho más altos que otros estudios desarrollados en el Neotrópico. Esto posiblemente se debe a: 1) las altas abundancias del género en el río Gaira (Barragán *et al.*, 2017), 2) las épocas de sequía durante el estudio influyeron en la alta abundancia de los organismos favoreciendo la producción secundaria y 3) estas especies poseen una alta tasa de crecimiento. En este sentido,

Huryn y Wallace (2000) postularon que cualquier factor que reduzca la tasa de crecimiento y la biomasa, puede reducir también la producción. En este caso si un factor como la ausencia de precipitaciones puede producir disminución en el arrastre de organismos y por ende aumenta en la biomasa, también puede influir en que la producción sea mayor.

La falta de estudios sobre aspectos ecológicos en los plecópteros, se debe posiblemente a la baja resolución taxonómica a nivel de especie (Zuñiga, 2010), ya que las ninfas de los plecópteros son muy parecidas morfológicamente, siendo difícil su identificación (Hynes, 1976). Además de ser estudios extensos y bastante dispendiosos al momento de ejecutarlos, obteniendo poca información del papel que cumple estos organismos en un ecosistema acuático. Realizar estos tipos de estudios a nivel de comunidades de un ecosistema acuático, podría arrojar una mayor información sobre las interacciones entre los organismos en las redes tróficas y que tanto de la producción disponible en el medio, es asimilado por otros organismos, en el cual, se puede integrar otros componentes como los hábitos alimenticios, calidad del agua y factores estresores, evaluando así la salud de un ecosistema. Sin olvidar, que la producción secundaria es una herramienta útil para conocer más a fondo la importancia de estos organismos en la transferencia de energía a través de las redes tróficas (Dolbeth *et al.*, 2012). Además, estos estudios ayudan a entender sobre la funcionalidad de un ecosistema acuático (Schiller *et al.*, 2017; Dolbeth *et al.*, 2012) lo cual se constituye en una herramienta muy importante en la conservación de los ecosistemas fluviales.

7. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación permiten concluir que las especies *A. marta* y *A. caraca*, cumplen un papel importante en los ecosistemas acuático del río Gaira, al presentar mayores abundancias, biomasa y producción con respecto a otros estudios realizados en el Neotrópico. La presencia de casi todas las tallas de ambas especies, durante año, comprueba la hipótesis que estas especies son multivoltinas y sus cohortes se sobrelapan. En cuanto a la producción secundaria estimada en este trabajo, se destaca la importancia de la biomasa disponible en los plecópteros en la transferencia de energía a otros niveles tróficos en este ecosistema. Finalmente, se pudo confirmar que las precipitaciones son un factor que influye en la reducción de la abundancia de los plecópteros en el río Gaira y por ende la disponibilidad de energía en términos de la biomasa.

8. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN K.R. Some aspects of the production and cropping of fresh waters. Transactions and Proceedings of the Royal Society of New Zealand. 1949; Vol. 77: 222-228.

ALLEN K. The Horokiwi stream. A study of a trout population. Fishery Bull. New Zealand. 1951; Vol. 10: 231 p.

BALLESTEROS Y. Contribución al conocimiento del género *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) y su relación con la calidad del agua en el Río Riofrío (Valle del Cuaca). Tesis. Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad del Valle. Santiago de Cali. 2004.

BARRAGÁN M, TAMARIS-TURIZO C, Y RUA G. Comunidades de insectos acuáticos de los tres flancos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Biota Colombiana. 2017. Vol. 17(2): 47-61.

BENKE A. A modification of the Hynes method for estimating secondary production with particular significance for multivoltines populations. Limnol. and Oceanogr. 1979; Vol. 36: 690-708.

BENKE A. Secondary production of aquatic insects. 1984. p. 289-322. En V. H. Resh and D. M. Rosenberg (eds.). The ecology of aquatic insects. Prager.

BENKE A. Concepts and patterns of invertebrate production running waters. Verh. Internat. Verein. Limnol. 1993; Vol. 25: 15-38.

BENKE A, WALLACE J, HARRISON J, Y KOEBEL J. Food web quantification using secondary production analysis: Predaceous invertebrates of the snag habitat in a subtropical river. Freshwater Biology. 2001; Vol. 46: 329-346.

BENKE A, Y HURYIN A. Capítulo 29. Secondary production of macroinvertebrates. En Hauer F, Lamberti, G, editores. Methods in Stream Ecology. New York, U.S.A: Academic Press, Segunda edición; 2011. p. 691–710.

BISHOP, J. Limnology of a small Malayan river, Sungai Gombak. 1973. W. Junk, The Hague. In Jackson J, y Sweeney B. Egg and larval development times for 35 species of tropical stream insects from Costa Rica. Journal of the North American Benthological Society. 1995; Vol. 14, 115–130.

BOHÓRQUEZ H, REINOSO G. Y GUEVARA G. Seasonal size distribution of *Anacroneuria* (Plecoptera:Perlidae) in an andean tropical river. Rev. Col. Ent. 2011; Vol. 37(2): 305-312.

BURDET A, Y WATTS R. Modifying living space: an experimental study of the influences of vegetation on aquatic invertebrate community structure. Hydrobiologia. 2007; Vol. 618: 161-173.

- CARDONA A. Y OJEDA G. Special volume: Geological evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta and adjacent basins, Colombian Caribbean región. *Journal of South American earth Sciences*, Special Issue: Sierra Nevada de Santa Marta and adjacent basins. 2010; Vol. 29(4): 761–763
- CRESSA C. Taxonomía, Composición cualitativa y producción secundaria de la fauna béntica en el Parque Nacional El Avila. Informe final Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Caracas, Venezuela. 2003.
- DeWALT R, MAEHR M, NEU-BECKER Y STUEBER G. Plecoptera Species File Online. Version 5.0/5.0. 2017. Consultado en: <http://Plecoptera.SpeciesFile.org>.
- DOLBETH M, CUSSON M, SOUSA R, Y PARDAL M. Secondary production as a tool for better understanding of aquatic ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2012; Vol. 69, 1230–1253.
- DOLÉDEC S, Y STATZNER B. Responses of freshwater biota to human disturbances: contribution of J-NABS to developments in ecological integrity assessments, *J. N. Am. Benthol. Soc.* 2010; Vol. 29(1): 286–311.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de "El Niño" y "La Niña". Boletín número 93. 2016. Consultado en: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co>.
- FOCHETTI R, Y TIerno DE FIGUEROA J. Global diversity of stoneflies (Plecoptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*. 2008; Vol. 595: 365-377.
- FUNDACIÓN PRO-SIERRA NEVADA. Evaluación Ecológica Rápida de la Sierra Nevada de Santa Marta. Definición de Áreas Críticas para la Conservación de la Sierra Nevada de Santa Marta. 1998. Santa Marta: Ministerio del Medio Ambiente, UAESPNN The Nature Conservancy -USAID- Embajada de Japón
- FUNDACIÓN PRO-SIERRA NEVADA. Bases técnicas para la formulación de una estrategia de conservación ecorregional. Proyecto Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en la Sierra Nevada de Santa Marta. 2000.
- FRAYTER V, JIMENEZ E, PABON R, Y VALERO O. Plan de manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Gaira. Tesis Ingeniero Agrónomo y Economía, Universidad del Magdalena, Santa Marta. Colombia. 2000. 46-47p.
- GAYANILO F, SPARRE P, Y PAULY D. FiSAT II (ver. 1.2.0.). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2002. Disponible en www.fao.org/fi/statist/fisoft/fisat/index.htm.

GIACOMETTI J, Y BERSOSA F. Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. Boletín Técnico 6. 2006; Serie Zoológica Vol. 2: 17-32.

GRIMALDO M. Inventario de los Macroinvertebrados asociados a las macrófitas acuáticas en el Río Gaíra Departamento del Magdalena, Colombia. Trabajo de Grado del Programa de Biología con Énfasis en Recursos Hídricos. 2001. Universidad del Magdalena. Santa Marta. Colombia

GUERRERO F, MANJARRÉS A, NUÑEZ N. Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Act. Biol. Col. 2003; Vol. 8(2): 43-55.

GUISANDE C, VAAMONDE A, Y BARREIRO A. Programa estadístico StatR - RWizard versión Beta 1.0. 2014. Universidad de Vigo. España. Disponible en <http://www.ipez.es/RWizard>.

GUTIÉRREZ-FONSECA P. Ecología, reproducción, taxonomía y distribución de *Anacroneuria* spp. Klapálek, 1909 (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en Costa Rica (Tesis de pregrado). San José: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Costa Rica; 2009. p. 4-57.

GUTIÉRREZ-FONSECA P. Capítulo 6. Plecoptera. Revista de Biología Tropical. 2010; Vol. 8 (Supl.4): 139-148.

HANSON P, SPRINGER M, Y RAMIREZ A. Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. Rev. biol. trop. 2010; Vol. 58 (4): 3-37.

HYNES H. Biology of Plecoptera. Annual Review of Entomology. 1976; Vol. 21: 135-153.

HYNES H, Y COLEMAN J. A simple method of assessing the annual production of stream benthos. Limnol. Oceanogr. 1968; Vol. 13: 569-573.

HURYN A, Y WALLACE J. Life history and production of stream insects. Annual Review of Entomology. 2000; Vol. 45:83-110.

LÓPEZ-RODRIGUEZ M. Life history, nymphal feeding and secondary production of Ephemeroptera and Plecoptera from Southern Iberian Peninsula (Tesis de Doctorado). Granada: Departamento de Biología Animal, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Granada; 2008. 248p.

LÓPEZ-RODRÍGUEZ M, TIerno DE FIGUEROA J, FENOGLIO S, BO T, Y ALBA-TERCEDOR, J. Life strategies of 3 Perlodidae species (Plecoptera) in a Mediterranean seasonal stream in southern Europe. Journal of the North American Benthological Society. 2009; Vol. 28 (3): 611-625.

MERRITT W, CUMMINS K, Y BERG M (Editors). An introduction to the aquatic insects of North America, 4th Edition. 2008. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.

MICHIYO A, Y GRZYBKOWSKA, M. Seasonal dynamics and production of *Campsurus violaceus* nymphs (Ephemeroptera, Polymitarcyidae) in the Baía River, upper Paraná River floodplain, Brazil. *Hydrobiologia*. 1997; Vol. 356: 149-155.

MUÑOZ I, RODRIGUES-CAPITULO A, CAMACHO A, GONZÁLEZ J, ROMANÍ A, SABATER S. Flujo de energía en el ecosistema fluvial. Producción primaria y producción secundaria. En Elosegi A. y Sabater S, editores. *Conceptos y técnicas de ecología fluvial*. Bilbao, España: Fundación BBVA, Primea edición; 2009. p. 323-346.

O'HOP J, WALLACE J, Y HAEFNER J. Production of a stream shredder, *Pletoptera maria* (Plecoptera: pletopterae) in disturbed and undisturbed hardwood catchments. *Freshwater Biology*. 1984; Vol. 14: 13-21.

RAMIREZ A, Y PRINGLE C. Structure and production of a benthic insect assemblage in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 1998. Vol. 17, 443–463.

RUEDA-DELGADO G. *Manual de métodos en Limnología*. Editorial. ACL–Limnos. 2002; Bogotá. 77 p.

RUHÍ A, MUÑOZ I, POSANTÍ L, Y ACUÑA V. Flow regulation increases food-chain length through omnivory mechanisms in a Mediterranean river network. *Freshw. Biol*. 2016; Vol. 61: 1536–1549.

RODRÍGUEZ-BARRIOS J, OSPINA-TORRES R, Y TURIZO-CORREA, R. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 2011; Vol. 59(4): 1537-1552.

ROLDÁN G. Desarrollo de la Limnología en Colombia: Cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidades Biológicas*. 2009; Vol. 31(91), 227-237.

SCHILLER D, ACUÑA V, ARISTI I, ARROITA M, BASAGUREN A, BELLIN A, BOYERO L, BUTTURINI A, GINEBRED A, KALOGIANNI E, LARRAÑAGA A, MAJONE B, MARTINEZ A, MONROY S, MUÑOZ I, PAUNOVIC M, PEREDA O, PETROVIC M, POZO J, RODRIGUEZ-MOZAS S, RIVAS D, SABATER S, SABATER F, SKOULIKIDIS N, SOLAGAISTUA L, VARDAKAS L Y FLOSEGI A. River ecosystem processes: A synthesis of approaches, criteria of use and sensitivity to environmental stressors. *Science of the Total Environment*. 2017; Vol. 596-597: 465–480.

SHINITSHENKOVA N. Paleontology of stoneflies. 1997; p. 561-565. En P. Landolt y Sartori (eds.). *Ephemeroptera and Plecoptera, Biology-Ecology-Systematics*. MTL Friburgo, Alemania.

SIERRA-LABASTIDAS T, Y REYES S. Aproximación a la producción secundaria de *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), en la parte media del río Gaira (Hacienda la Victoria) (Tesis de pregrado).

Santa Marta: Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena, Colombia; 2005. 78p.

STARK B. New species and records of *Anacroneuria* (Klapálek) from Venezuela. Spixiana. 1995; Vol. 18(3):211-249.

STEWART K, Y STARK B. Nymphs of North American Stonefly Genera (Plecoptera) 2 ed. Ohio: Editorial The caddis Press, P.O; 2002. p. 510.

TAMARIS-TURIZO C Y TURIZO R. Evaluación del hábitat y el tipo de alimentación de los plecópteros de la parte alta del Río Gaira, departamento del Magdalena, Colombia. Tesis de pregrado. Universidad del Magdalena; 2004. 81 pp

TAMARIS-TURIZO C, TURIZO R, Y ZUÑIGA M. Spatial-temporal distribution and feeding in nymphs of *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) in the Gaira river (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia) Caldasia. 2007. Vol. 29(2):375-385.

TAMARIS-TURIZO C, RODRÍGUEZ J, Y OSPINA R. Deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira, vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Caldasia. 2013. Vol. 35(1): 149-163.

TAMARIS-TURIZO C, Y SIERRA-LABASTIDA T. Una inspección al papel de la producción de los Plecópteros en los ecosistemas loticos. Revista de ciencias. 2009; Vol.12: 109-119.

THEODOROPOULOS C, VOURKA A, STAMOU A, RUTSCHMANN P, SKOULIKIDIS N. Response of freshwater macroinvertebrates to rainfall-induced high flows: A hydroecological approach Ecological Indicators. Ecological Indicators. 2017; Vol. 73: 32–442.

TIERNO DE FIGUEROA J, LUZÓN-ORTEGA J, Y LÓPEZ-RODRÍGUEZ, M. Los plecópteros (Insecta, Plecoptera) de la provincia de Granada (España): diversidad y estado de conservación. Acta Granatense. 2003; Vol. 2: 111-123.

TURCOTTE P Y HARPER. The macro-invertebrate fauna of a small Andean stream. Freshwat. Biol. 1982; Vol.12: 411-419

VERA A, Y CAMOUSSEIGHT A. Estado de conocimiento de los plecópteros de Chile. Gayana Zoología. 2006; Vol. 70(1): 57-64.

VINCON G, EL ALAMI M, ERROCHDI S. Contribution to the knowledge of the Moroccan High and Middle Atlas stoneflies (Plecoptera, Insecta). Illiesia. 2014; Vol. 10(03):17-31

WATERS T. The effect of growth and survival patterns upon the cohort P/B ratio. Journal of North American Benthological Society.1987; Vol. 6(4):223–239

YULE C. Comparison of the dietary habitat of six species of Dinotoperla (Plecoptera: Gripoterygidae) in victoria. Australian Journal of Marine & Freshwater Research. 1985; 37: 121-127. Pag 139. En Gutiérrez-Fonseca, P. Capítulo 6. Plecoptera. Revista de Biología Tropical. 2010; Vol. 8 (Suppl.4): 139-148.

ZEN.

ZUÑIGA M. Biodiversidad, distribución y ecología del Orden Plecoptera (Insecta) en Colombia, con énfasis en *Anacroneuria* (Perlidae). Momentos de ciencia. 2010; Vol. 7(2): 101-112.

ZÚÑIGA M, BALLESTEROS Y, GRISALES M. Nocturnal emergence patterns of four species of *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) in a tropical interandean stream (Colombia, South America). 2003. pp 13-14. Abstract Seventh North American Plecoptera Symposium. Colorado, USA.

ZÚÑIGA M, Y STARK B. New species and records of Colombian *Anacroneuria* (Insecta, Plecoptera, Perlidae). Spixiana. 2002; Vol. 25(3): 209-224

ZÚÑIGA M, STARK B, CARDONA W, TAMARIS-TURIZO C, Y ORTEGA O. Additions to the Colombian *Anacroneuria* fauna (Plecoptera: Perlidae) with descriptions of seven new species. Illiesia. 2007; Vol. 3(13):127-149.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculos de la producción secundaria de dos especies del género *Anacroneuria* en el río Gaira.

a) *A. marta*

Clases de tallas	Masa individual (mg)	Densidad (Ind.m ⁻²)	Biomasa (mg.m ⁻²)	No. Perdidos (Ind.m ⁻²)	Promedio del peso (mg)	Biomasa total perdida (mg.m ⁻²)	Factor de corrección (x13)
≤1.2	0.35	11.111	3.85	-23.02	0.72	-16.56	-215.23
(1.3>	1.09	34.127	37.26	6.35	1.49	9.48	123.29
(1;8>	1.90	27.778	52.65	14.29	2.17	30.99	402.89
(2.3>	2.44	13.492	32.97	-1.59	2.75	-4.37	-56.79
(2;8>	3.06	15.079	46.16	-2.38	3.27	-7.79	-101.27
(3.3>	3.48	17.460	60.81	2.38	3.65	8.68	112.87
(3.8>	3.81	15.079	57.46	-2.38	3.98	-9.48	-123.24
(4.3>	4.15	17.460	72.51	8.73	4.29	37.49	487.42
(4.8>	4.44	8.730	38.73	1.59	4.59	7.28	94.69
(5.3>	4.74	7.143	33.87	6.35	4.83	30.66	398.63
(5.8>	4.92	0.794	3.90	0.00	5.04	0.00	0.00
(6.3>	5.17	0.794	4.10	-1.59	5.34	-8.48	-110.28
(6.8>	5.52	2.381	13.14	2.38	5.52	13.14	170.81

N= 216

B= 457.41

P= 2582.82

b) *A. caraca*

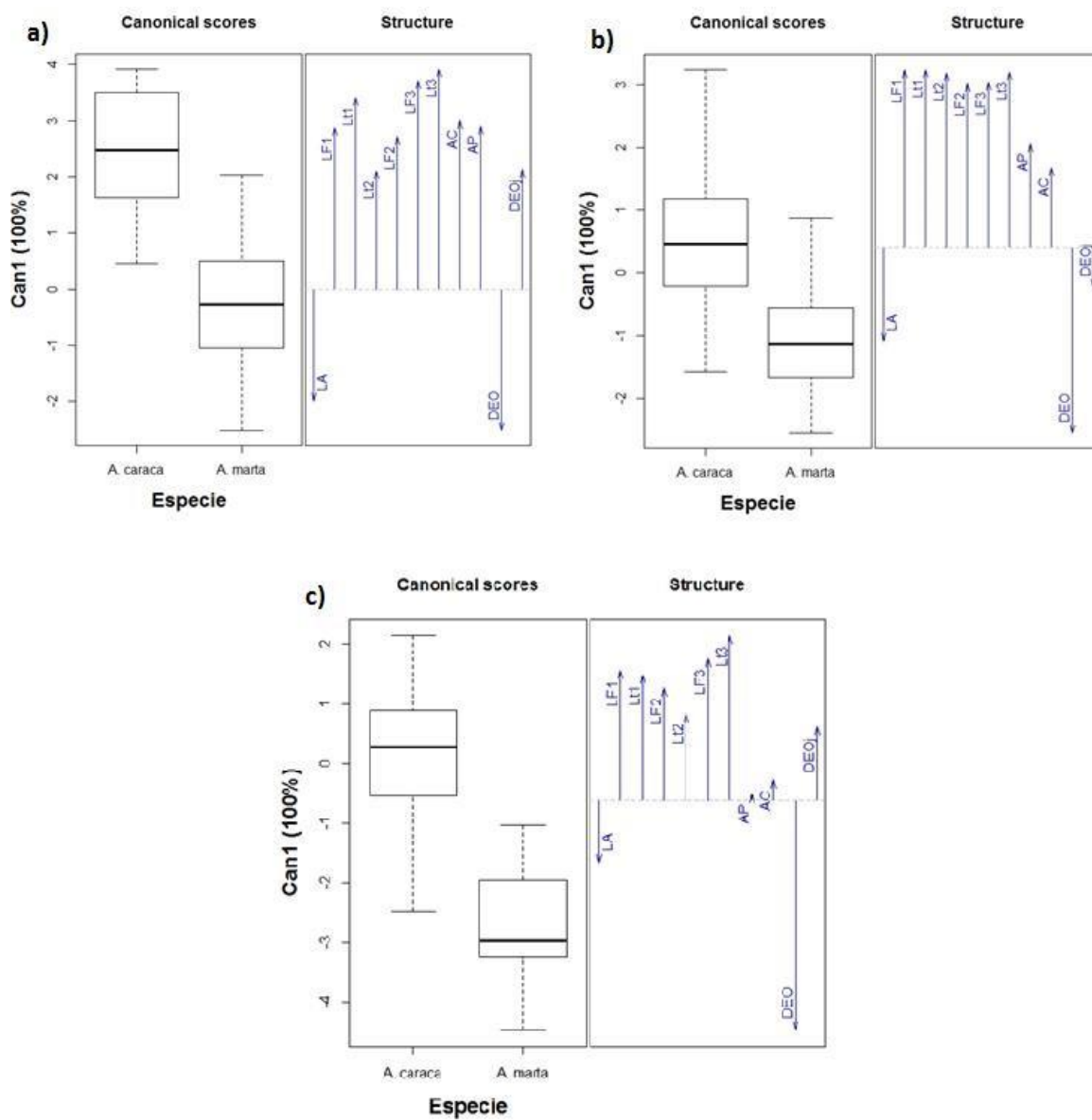
Clases de tallas	Masa individual (mg)	Densidad (Ind.m ⁻²)	Biomasa (mg.m ⁻²)	No. Perdidos (Ind.m ⁻²)	Promedio del peso (mg)	Biomasa total perdida (mg.m ⁻²)	Factor de corrección (x14)
≤1.2	0.34	8.730	3.01	-38.10	0.77	-29.26	-409.66
(1.3>	1.19	46.825	55.80	-7.94	1.58	-12.58	-176.07
(1;8>	1.98	54.762	108.29	27.78	2.35	65.26	913.71
(2.3>	2.72	26.984	73.44	12.70	2.94	37.28	521.96
(2;8>	3.15	14.286	45.01	7.14	3.38	24.11	337.59
(3.3>	3.60	7.143	25.72	5.56	3.78	20.98	293.73
(3.8>	3.95	1.587	6.27	1.59	1.98	3.14	43.91
(4.3>	0.00	0.000	0.00	-3.17	2.35	-7.45	-104.28
(4.8>	4.69	3.175	14.90	0.79	4.84	3.84	53.81
(5.3>	4.99	2.381	11.89	-1.59	5.14	-8.15	-114.13
(5.8>	5.28	3.968	20.94	-3.17	5.39	-17.11	-239.58
(6.3>	5.50	7.143	39.31	5.56	5.57	30.95	433.25
(6.8>	5.64	1.587	8.95	-1.59	5.77	-9.16	-128.24
(7.3>	5.90	3.175	18.74	3.17	5.90	18.74	262.39

N= 229

B= 432.28

P= 4198.37

Anexo 2. Análisis discriminante de *A. marta* y *A. caraca* en tres clases de tallas. a) Clase de talla 1 (3 a 6.9 mm), con un 91.57% de casos correctamente identificados, N= 178. b) Clase de talla 2 (7 a 9 mm) con un 78.57% de casos correctamente identificados. N= 112. c) Clase de talla 3 (9 a 14 mm), con un 93.67% de casos correctamente identificados, N=79.

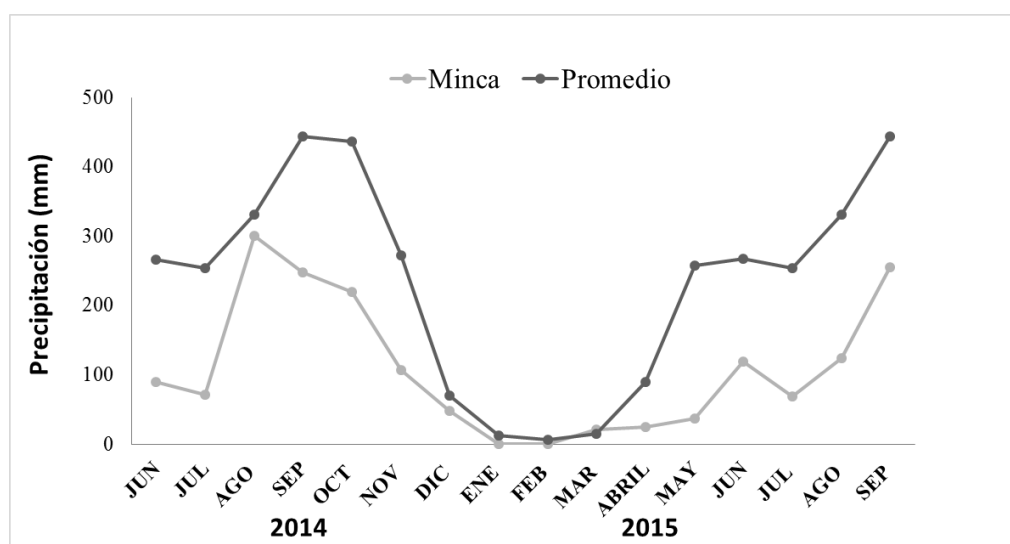


Anexo 3. Abundancia de *A. marta* y *A. caraca* en los diferentes microhabitats en el río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta.

Microhabitat	<i>A. marta</i>	<i>A. caraca</i>	Total
Grava en corriente rápida	155	139	294

Grava en corriente lenta	90	104	194
Hojarasca	383	255	638
Total	628	498	1126

Anexo 4. Variación pluviométrica en el sector de Minca, durante el ciclo hidrológico anual. Precipitación media mensual (2455.8), Estación metereológica de Minca. Fuente: IDEAM.



Anexo 5. Biomasa (mg.m^{-2}) de las especies *A. marta* y *A. caraca* por muestreo en los microhabitats GCR y GCL, en la parte media del río Gaira.

a) GCR

Muestreos	<i>A. marta</i>	<i>A. caraca</i>	Desv. estándar de <i>A.marta</i>	Desv. estándar de <i>A.caraca</i>
JUL 27	21.32	61.84	3.92	3.67
AGO 17	7.90	6.37		
SEP 14	22.83	21.67	3.22	9.48
SEP 28	22.95	9.51	6.27	17.40
OCT 19	11.93	7.60	13.56	2.80
NOV 09	40.88	0.00	6.46	

DIC 06	74.94	56.64	15.14	17.09
ENE 13	65.05	88.99	11.37	10.17
ENE 30	14.57	44.09	11.37	9.34
FEB 23	96.89	58.18	13.59	12.63
MAR 23	100.39	84.72	15.63	17.05
MAY 03	70.84	94.33	14.04	18.48
MAY 21	63.81	50.28	15.76	14.63
JUN 24	77.75	37.88	15.91	15.73
Total	692.03	622.11		
Promedio	49.43	47.85		

b) GCL.

Muestreos	<i>A. marta</i>	<i>A. caraca</i>	Desv. estándar de <i>A.marta</i>	Desv. estándar de <i>A.caraca</i>
JUL 27	0	0	0	0
AGO 17	7.31	0	1.82	0
SEP 14	0	10.49	0.00	12.01
SEP 28	6.69	10.96	1.91	12.14
OCT 19	0	2.85	0	0.16
NOV 09	20.88	11.87	28.38	1.02
DIC 06	20.85	22.12	3.06	12.47
ENE 13	26.05	8.36	16.90	22.77
ENE 30	18.70	43.01	15.04	9.11
FEB 23	45.16	39.86	12.41	13.46
MAR 23	49.90	45.95	15.37	8.41
MAY 03	75.39	46.01	17.31	5.70
MAY 21	66.42	68.44	14.09	17.17
JUN 24	40.59	77.64	8.13	18.24

Total	377.94	387.56		
Promedio	34.36	32.30		